

아세틸렌 분자에 안정화된 반도체 레이저의 절대주파수 측정

Absolute Frequency Measurement of an Acetylene-stabilized Laser with a Mode-locked Laser

김억봉, 문한섭, 박창용, 이호성, 조혁*
 한국표준과학연구원, *충남대학교 물리학과
 ubkim@kriss.re.kr

펨토초 모드록 레이저와 초미세 구조 광섬유에 의해 만들어지는 광빔살을 제어하는 기술이 최근에 급속히 발전하면서 임의의 단일 레이저 주파수를 시간 표준으로부터 정의 되는 절대 주파수 값으로 간단히 측정해 내는 일이 가능해졌다⁽¹⁾. 아세틸렌은 광통신 주파수 대역인 1.5 μm 파장 영역에 좁은 선폭의 흡수선을 가지고 있기 때문에 차세대 광통신 방식인 다 채널 광통신의 구현을 위한 광통신 주파수 표준기로 사용되고 있으며 CIPM에서도 이 흡수선의 주파수를 광통신용 표준 주파수로 중요하게 다루고 있다. 본 학회에서는 한국표준과학연구원의 시간 표준기에 위상 동기된 모드록 펨토초 레이저의 광빔살을 이용하여 아세틸렌의 흡수선에 안정화된 반도체 레이저의 절대 주파수 측정 결과를 발표한다.

아세틸렌의 흡수선에 안정화된 레이저의 절대 주파수를 측정하기 위하여 우리는 광시계 방법을 사용하였다. 광시계 방법은 주파수 빔살의 간격을 조절하여 광빔살 중 하나(N 번째 빔살)를 측정하고자 하는 레이저에 위상 잠금 되도록 만드는 방법이다. 결과적으로 광빔살 사이의 간격(펄스 반복률)은 측정하고자 하는 레이저의 주파수의 변화 따라 변하게 된다. 이러한 광시계 방법에서는 기존의 방식에서 문제가 되었던 RF 주파수 합성기 위상잡음 문제를 최소화 할 수 있다⁽²⁾.

그림 1은 아세틸렌의 P(16) 흡수선에 안정화시킨 상용화된 레이저의 작동 원리를 보여주고 있다. 이 흡수 신호는 크기가 매우 작기 때문에 Fabry-Perot 공진기로 광선의 세기를 증가시키고, Pound-Drever-Hall 방법을 사용하여 반도체 레이저를 안정화한다. 이때 사용된 아세틸렌 셀은 길이가 20 cm이고 압력은 약 4 Pa 이다. 펨토초 모드록 레이저의 스펙트럼은 초미세 구조 광섬유를 이용하여 광빔살(500 nm ~ 1100 nm)를 만들지만, 1.5 μm 파장 대역은 포함 하고 있지 않다. 이 때문에 아세틸렌 레이저의 출력을 증폭하고 증폭된 출력으로 이차 조화 진동 주파수인 771 nm 파장 대역의 광선을 만들었다. 그리고 펨토초 레이저의 광빔살 중 771 nm에 해당하는 성분과 위상 잠금 하였다.

그림 2는 펨토초 모드록 레이저 광빔살의 한 성분과 아세틸렌 안정화된 반도체 레이저 사이의 25 dB 신호대 잡음비를 가진 맥놀이 신호를 보여주고 있다. 맥놀이 신호 중 한 성분을 tracking oscillator를 사용하여 신호대 잡음 비율을 약 50 dB로 만든 후 시간 표준기에 위상 동기된 신호발생기와 비교하여 맥놀이 주파수가 항상 10 MHz가 되도록 주파수 빔살 간격을 조절하였다.

그림 3은 펨토초 모드록 레이저를 이용하여 측정된 반도체 레이저의 주파수 안정도이다. 광시계 방법으로 펨토초 레이저를 안정화 한 후 반복률을 기록하여 Allan 분산을 계산하였다. 광시계 방법은 펨토초 모드록 레이저가 반도체 레이저의 안정도를 따라 가도록 하는 방법이므로 그림 3에서의 보이는 Allan 분산은 반도체 레이저 안정도를 나타낸다고 볼 수 있다. 그림에서 보듯이 1초의 평균 시간에서의 안정도는 약 7×10^{-12} 로 측정되었고 Allan 분산은 $\tau^{-1/2}$ 로 감소하고 있다.

그림 4는 주파수 안정화된 아세틸렌 레이저의 절대 주파수를 광시계 방법으로 측정한 결과로 평균 주파수(f_{average})는 194 369 569 389.25(1.4) kHz 이었다. 이 주파수는 CIPM에서 추천하는 값의 불확도 범위 안에서 일치하는 결과이다. 하지만 CIPM에서 추천한 중심 값과 비교하면 약 4 kHz 정도 크게 측정되었다. 이 결과의 원인은 아세틸렌의 안정화 회로 offset과 아세틸렌 셀의 압력(-230 ± 20 Hz/mTorr), 그리고 Fabry-Perot 공진기 안의 광선의 세기(-11.4 ± 0.6 Hz/mW), 변조 주파수의 크기 (4700 ± 300 Hz/MHz) 등의 영향이 복합적으로 작용한 것이다.

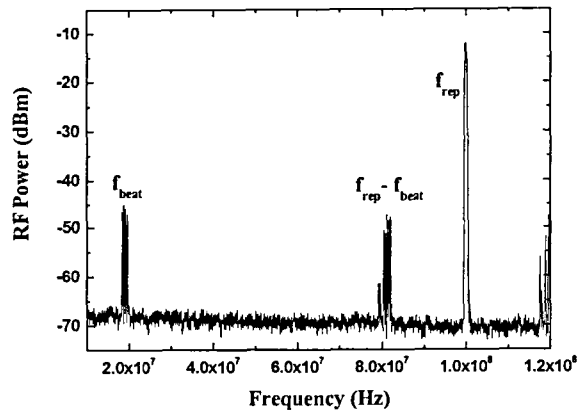
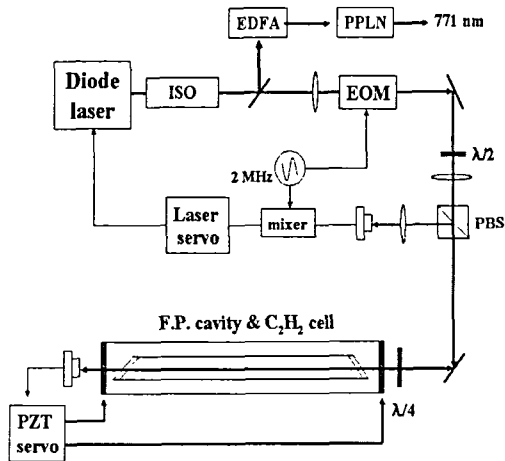


그림 1. 아세틸렌의 P(16) 흡수선에 반도체 레이저를 안정화하기 위한 실험 장치도.

그림 2. 아세틸렌에 주파수 안정화된 반도체 레이저와 펄스 레이저 광빔살 사이의 맥놀이 신호. 이때의 분해능은 300 kHz이다.

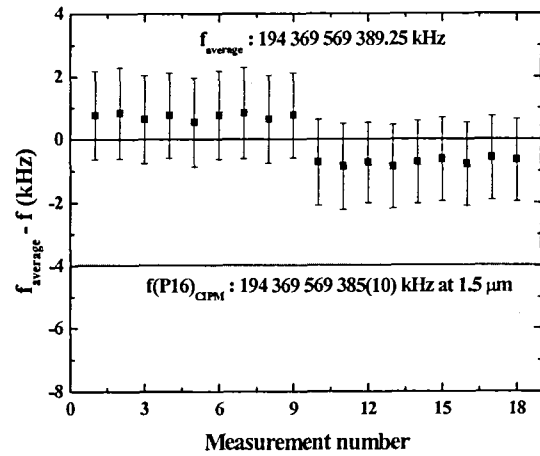
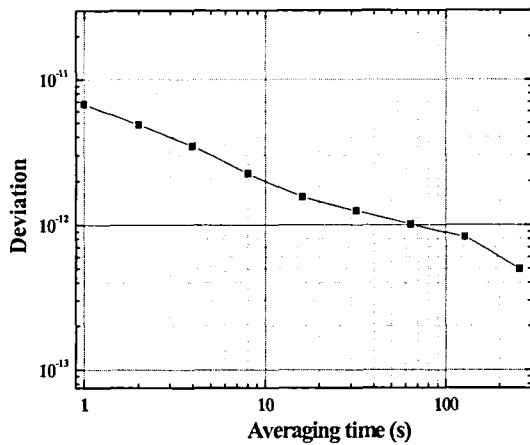


그림 3. 아세틸렌에 안정화된 반도체 레이저의 안정도.

그림 4. 광시계 방법을 이용한 아세틸렌 안정화 반도체 레이저의 절대 주파수 측정결과.

참고문헌

1. D. J. Jones et al., Science. 288, 635-639 (2000).
2. L-S. Ma. et al., IEEE Trac. Instrum. Meas. 52, 232-235 (2003).